

**УДК 681.5.073**

*Д.І. Червоний, студент гр. ПІ-91мп, к.т.н., доц. Дубінець В.І.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **РОЗШИРЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНА АКСЕЛЕРОМЕТРА ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ**

**Анотація.** У даній статті наводиться спосіб підвищення роздільної здатності акселерометра прямого перетворення на нижньому діапазоні прискорень. Він заснований на використанні в якості рухомого вузла акселерометра двох чутливих мас, у яких пружні підвіси виконані з різною жорсткістю. Сформульовано основна проблема реалізації конструкції і спосіб її вирішення. А також розглянуто вторинний канал обробки даних з первинного перетворювача акселерометра.

**Ключові слова:** прискорення, акселерометр, роздільна здатність.

### **ВСТУП**

Акселерометр - датчик, що вимірює проекцію діючого прискорення на його вісь чутливості. Головним компонентом акселерометра є рухливий вузол (РВ). Він складається з чутливої маси (ЧМ), яка відхиляється від свого початкового положення під дією зовнішніх сил, тим самим деформуючи пружні підвіси (ПП), які з'єднують ЧМ з нерухомою рамкою. Для демпфування коливань ЧМ поміщається в газове середовище. Відхилення ЧМ від початкового положення фіксує датчик переміщення (ДП). Поступаючий від нього сигнал передається на електричну схему для перетворення його в нормовану напругу. Як відомо, існують два типи акселерометрів: прямого і компенсаційного перетворення. Відмінності в них в тому, що крім ДП, у компенсаційного типу існує перетворювач зворотного зв'язку який прагне повернути ЧМ акселерометру в початкове положення. Використання зворотного зв'язку дозволяє забезпечити точність вимірювання до 0,001%, що більше на два порядки в порівнянні з акселерометром прямого виміру [1][2].

Поряд зі збільшенням точності, також важливо забезпечити низьку вартість виготовлення датчика і його невеликі масогабаритні показники. За останніми двома параметрами акселерометр зі зворотним зв'язком програє акселерометру прямого виміру, тому що для реалізації зворотного зв'язку потрібне додаткове місце в корпусі під елементи вторинного перетворювача [1][3]. Тому необхідність розробки акселерометра, що забезпечує більш широкий динамічний діапазон, малі масогабаритні показники і низьку вартість виготовлення є актуальною задачею.

### **ІДЕЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АКСЕЛЕРОМЕТРА**

За основу розробки взято акселерометр прямого перетворення розрахованого на великі прискорення близько 100 g. На нижньому діапазоні, в межах 1 g, похибка вимірювання значно перевищує допустимі значення. Це викликано великою жорсткістю ПП. Якщо зменшити жорсткість підвісів, тим самим збільшивши чутливість акселерометра, то неможливо буде виміряти великі прискорення внаслідок обмеження переміщення руху ЧМ [4][5].

Ідея полягає у використанні відразу двох ЧМ, розрахованих на вимір різних діапазонів прискорення [1]. Одна ЧМ працює на вимір малих прискорень, інша - великих. За рахунок зміни розмірів ПП можна домогтися

відхилення ЧМ від дії прискорень, що лежать в різних діапазонах. Ці діапазони вимірюваних прискорень вибираються в залежності від поставленого завдання. Наприклад, в момент запуску ракети з літака акселерометру необхідно вимірювати прискорення в межах 50 g, а при маневруванні ракетою для досягнення заданої мети достатньо 5 g. ЧМ (маятники) розташовуються поруч один з одним в одній площині, так щоб центр мас перебував на загальній лінії. Дана конструкція представлена на рис. 1[1][6].

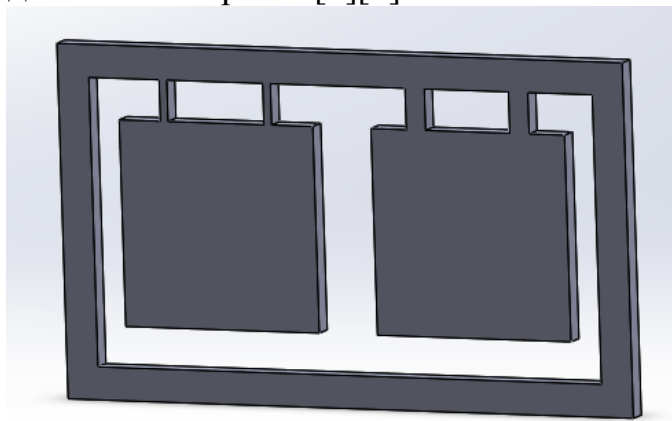


Рисунок 1. Конструкція рухомого вузла

Так як відмінності між ЧМ лише в розмірах ПП, а інші параметри конструкції однакові, то при дії прискорення його наростання за величиною буде надавати різний вплив на маси [1].

Передавальна функція акселерометра прямого перетворення [1][4]:

$$W_{\text{ПП}} = \frac{1}{Js^2 + K_{\text{ду}}s + G_y}, \quad (1)$$

де  $J$  - момент інерції маятника;

$K_{\text{ду}}$  - кутовий коефіцієнт газодинамічного демпфування;

$G_y$  - кутова жорсткість ПП.

Припустимо, що самі маятники за розмірами однакові, різні тільки підвіси. При збільшенні частоти дії прискорення, газ починає діяти все активніше. Відхилення маятників стрімко зменшується. Через різну жорсткість, маятник, який працює на вимір малих прискорень, буде відчувати чинне прискорення, тоді як інший маятник не відчуватиме. Це відбувається через різні смуги пропускання маятників. Щоб детальніше вивчити цю проблему розглянемо газодинамічне демпфування. При переміщенні ЧМ виникає сила газодинамічного опору, яка залежить від швидкості руху ЧМ [1]. При математичному моделюванні ПП акселерометра необхідно враховувати дію цієї сили на ЧМ. Для цього використовують коефіцієнт газодинамічного демпфування [1][4][7]:

$$K_d = \frac{3\mu S^2}{h^3}, \quad (2)$$

де  $S$  - площа контакту ЧМ з газом;

$\mu$  - в'язкість газу;

$h$  - величина зазору між ЧМ і корпусом.

Підбором параметрів коефіцієнта газодинамічного демпфування ліквідуються частоти коливання, які з'являються, наприклад, через вібрацію. При обмеженні у виборі газів, прийемо в'язкість газу постійною при можливому варіанті двох об'ємів газів, для кожної ЧМ, і ізолюваних одна від одної [1][3].

В якості вирішення цієї проблеми можна зменшити товщину однієї ЧМ, домігшись збільшення зазору між нею і корпусом. Але більш простий і в той же час ефективний варіант - передбачити газодинамічні отвори або щілинні прорізи в маятнику з м'якими підвісами, тим самим зменшити його ефективну площу. Для підбору розмірів і форми цих отворів, знайдемо коефіцієнт газодинамічного демпфування для ЧМ з м'якими підвісами, при відомих інших параметрах ПП [3].

$$K_{\text{ду}2} = K_{\text{ду}1} + (J_1 - J_2)s + (G_{y1} - G_{y2})\frac{1}{s}, \quad (3)$$

де  $K_{\text{ду}1}$ ,  $J_1$ ,  $G_{y1}$  - параметри ЧМ, що працює на вимір великих прискорень;

де  $K_{\text{ду}2}$ ,  $J_2$ ,  $G_{y2}$  - параметри ЧМ, що працює на вимір малих прискорень.

Загальна формула для знаходження площі контакту ЧМ з газом буде мати наступний вигляд:

$$S = \sqrt[3]{\frac{\mu(K_{\text{ду}1} + (J_1 - J_2)s + (G_{y1} - G_{y2})\frac{1}{s})}{4h^3}}. \quad (4)$$

При зміні площі маятника змінюються також всі його основні параметри, тому необхідно провести оптимізацію для отримання більш точного результату.

Вирішивши проблему поєднання смуг пропускання маятників, конструкція ПП виглядає (рис. 2) [1][3].

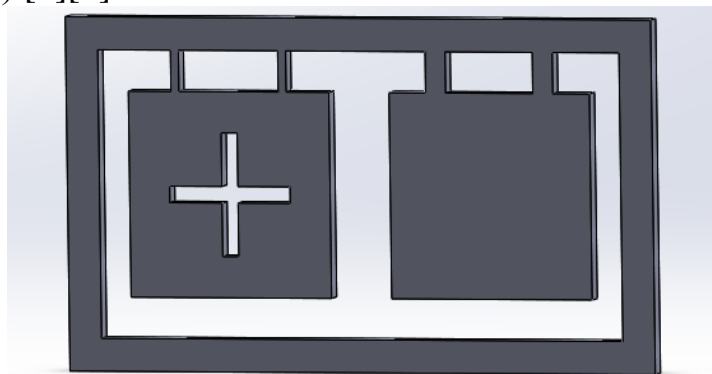


Рисунок 2. Конструкція рухомого вузла з урахуванням газодинамічних отворів

Реалізація вторинного каналу обробки даних є також важливим завданням в процесі проектування акселерометру. Необхідно вирішити питання моменту перемикавання між ЧМ, правильного визначення крутизни, нульового сигналу та інш.

Для цього, при дії прискорення на ПП, показання знімаються з однієї ЧМ, а виправити помилку цих показань можливо за допомогою даних, що надходять від іншої [1][6]. Введенням додаткової фільтруючої ланки ( $W_{\phi}$ ) потрібно домогтися приведення по фазі сигналу від однієї ЧМ до сигналу іншої. Так само необхідно позбутися від похибок, що виникають через різницю нульового сигналу. Цього можна домогтися шляхом додавання інтегратора, який буде

підсумовувати помилки показань, що знімаються з більш чутливої маси, і враховувати їх в показаннях, які видає інша ЧМ [1][3]. Структурна схема вторинного каналу обробки даних представлена на рис. 3:

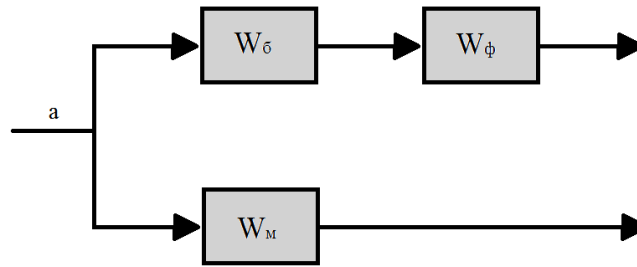


Рисунок 3. Структурна схема вторинного каналу обробки даних

## ВИСНОВОК

Розглянуто конструкцію акселерометра з двома ЧМ, у якій ПП виконані з різною жорсткістю для роботи в різних діапазонах прискорень, шляхи вирішення проблеми суміщення смуг пропускання ЧМ, а також показаний можливий варіант функціонування вторинного каналу обробки даних з первинного перетворювача акселерометра. Розглянуто можливість створення акселерометра, який має розширений діапазон прискорень зі збереженням точності, при цьому забезпечуючи його невелику масу та низьку вартість виготовлення.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

- [1] Таболин М.С., and Обухов В.И.. "Повышение разрешающей способности акселерометра прямого измерения на нижнем диапазоне измеряемых ускорений" Приволжский научный вестник, no. 12-3 (40), 2014, pp. 69-72.
- [2] Касей Г., Конвей М., Мэрфи М. Приводы для фокусировки объектива в камерных модулях высокого разрешения // Компоненты и технологии. 2008. № С. 147-150. Режим доступа: [http:// kit-e.ru/articles/powerel/2008\\_3](http://kit-e.ru/articles/powerel/2008_3)
- [3] Шлыков Г.П. Статические предельные метрологические модели линейных измерительных преобразователей. Серия «Метрология», Вып. 1: Лекция. Пенза: ПТУ, каф. МСК, 2003. - 24 с.
- [4] Распопов, В.Я. Мікромеханічні прилади: навчальний посібник / В.Я. Распопов. - М.: Машинобудування, 2007. - 400 с.: іл.
- [5] Вавилов, В.Д. Интегральные датчики / В.Д. Вавилов. - Нижний Новгород: Нижегород. держ. техн. ун-т., 2003. - 503 с.
- [6] Толстенок О. А., Холомина Т. А. Конструктивные и технологические особенности измерительно-преобразовательных микроэлектромеханических систем на основе кремниевых датчиков // Измерительная техника. 2004. - № 5. - с. 66-71.
- [7] A. M. Leung, J. Jones, E. Czyzewska, J. Chen, and M. Pascal, "Micromachined accelerometer with no proof mass," Technical Digest of Int. Electron Device Meet., pp. 899-902, 1997.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Дубінець В.І.*

